

КОМПЬЮТЕРНОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ ФОРМЫ "РОМБИЧНОСТЬ" В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КАЛИБРАХ

COMPUTER AND PHYSICAL MODELING ROLLING OF BILLETS WITH DEFECTS OF SHAPE "ROMBOIDITY" IN BOX PASS

Смирнов Е.Н., Снитко С.А., Скляр В.А.

Государственное высшее учебное заведение "Донецкий национальный технический университет", Украина, 38001, г. Донецк, ул. Артема 58, omd@fizmet.dgtu.donetsk.ua

Abstract

The results of computer and physical modeling of the process of rolling billets with a defect of form "romboidity" in the box pass, based on which recommendations are given for rolling a billet in the breakdown stand of section mills.

Key words: computer and physical modeling, rolling, billet, romboidity, box pass.

В настоящее время на многих украинских предприятиях большой процент непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) производится с дефектом формы "ромбичность". При этом разница диагоналей НЛЗ может достигать до 30 мм. Это обусловлено низким уровнем технической культуры, несовершенными технологиями процесса разливки, использованием кристаллизаторов, которые недостаточно учитывают особенности термической усадки заготовки и т.д.

Прокатка непрерывнолитой заготовки с дефектом формы "ромбичность" при разнице диагоналей более 7-10 мм приводит к сваливанию раската в первых проходах обжимной клетки, в результате чего происходит его скручивание вдоль продольной оси и изгиб. В связи с этим, в настоящее время, НЛЗ с большой "ромбичностью" подвергают огневой зачистке, во время которой срезаются острые углы заготовки, что приводит к увеличению материальных затрат и трудоемкости производства.

С целью исключения данной операции в работе было проведено компьютерное и физическое моделирование процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы "ромбичность" в прямоугольных калибрах, направленное на изучение возможностей стабильной прокатки такой заготовки в зависимости от величины начальной "ромбичности" путем подбора технологически параметров процесса, таких как: относительное обжатие, степень защемления и способ задачи заготовки в калибр.

В качестве метода расчетного исследования использовали метод конечно-элементного моделирования. Реализация модели выполнена в системе DEFORM 3D, разработанной компанией Scientific Forming Technologies Corporation и предоставленной по временной лицензии компанией ТЕСИС (г. Москва, Российская Федерация). Проверку адекватности конечно-элементной модели выполняли по фактическим данным формоизменения металла НЛЗ сечением 135×135 мм в обжимной клетки типового линейного среднесортного стана с диаметром валков 500 - 600 мм по действующему деформационно-скоростному и температурному технологическим регламентам.

При выполнении расчетного исследования с помощью разработанной математической модели рассматривали два варианта схемы деформирования. Первый вариант базировался на схеме бескалибровой про-

катки, идея которого изложена в работе [1]. Однако, в отличие от изложенного подхода, вместо валков с гладкой бочкой использовали валки с нарезанными на них прямоугольными калибрами. Предполагалось, что это предотвратит потерю устойчивости заготовки (сваливание) за счет ее фиксирования только в углах калибра и отсутствия ограничений поперечному течению металла ($a=b_z/b_k < 0,95$, где b_z – ширина заготовки, b_k – ширина дна калибра). При этом коэффициент продольной деформации (μ) был равен 1,13. С учетом особенностей принятой схемы деформирования, выполнена постановка расчетного эксперимента по прокатке заготовок с $\Delta d=20$ мм в прямоугольном калибре по следующим схемам: 1) прокатка с начальным поворотом заготовки вокруг ее продольной оси на угол α_n от 0 до 6°; 2) прокатка с ограничением поворота заготовки вокруг ее продольной оси; 3) прокатка без ограничения поворота заготовки вокруг ее продольной оси. По второму варианту выполняли моделирование процесса прокатки НЛЗ с большой величиной исходной "ромбичности" (Δd) по действующей в обжимной клетки стана системе сопряженных прямоугольных калибров с коэффициентом продольной деформации (μ) 1,32 и величиной ограничения поперечному течению металла (а) 1,04.

Моделирование выполняли при следующих условиях: тепловой режим заготовки – нестационарный; температура поверхности валков принималась равной 300°C и не изменялась в процессе прокатки; температура нагрева заготовки под прокатку – 1180 – 1230°C; время транспортировки заготовки от печи к стану – 10 секунд; скорость прокатки – 3 м/с; материал заготовки – пластический; материал прокатных валков – жесткий, недеформируемый. Поведение материала заготовки в процессе решения описывалось с помощью диаграммы «эквивалентные напряжения – эквивалентные деформации».

Результаты расчетного эксперимента с использованием разработанной модели показали, что получение качественных подкатов при прокатке НЛЗ с начальной ромбичностью не более 14 мм (рис. 1а) технологически осуществимо. В этом случае искажения формы деформируемой заготовки незначительны (рис. 1б). Реализация опытов расчетного эксперимента, при котором верхняя и нижняя грани заготовки не параллельны дну калибра

(рис. 1в), а возможность поворота заготовки вокруг продольной ограничена, показала, что в этом случае имеет место существенная неравномерность обжатия по ширине заготовки. Это способствует неравномерности вытяжки по поперечному сечению профиля и продольному скручиванию раската (рис. 1г). Полученные данные позволили сделать вывод о том, что наиболее близкая (к регламент-

ированной режимом деформирования и калибровкой валков) форма подката получается при прокатке с $a=1,04$ и $\mu=1,32$. Поэтому на следующем этапе исследований, связанном с изучением поведения диагональных трещин при деформировании (рис. 2.), использовали именно такой вариант технологической схемы прокатки.

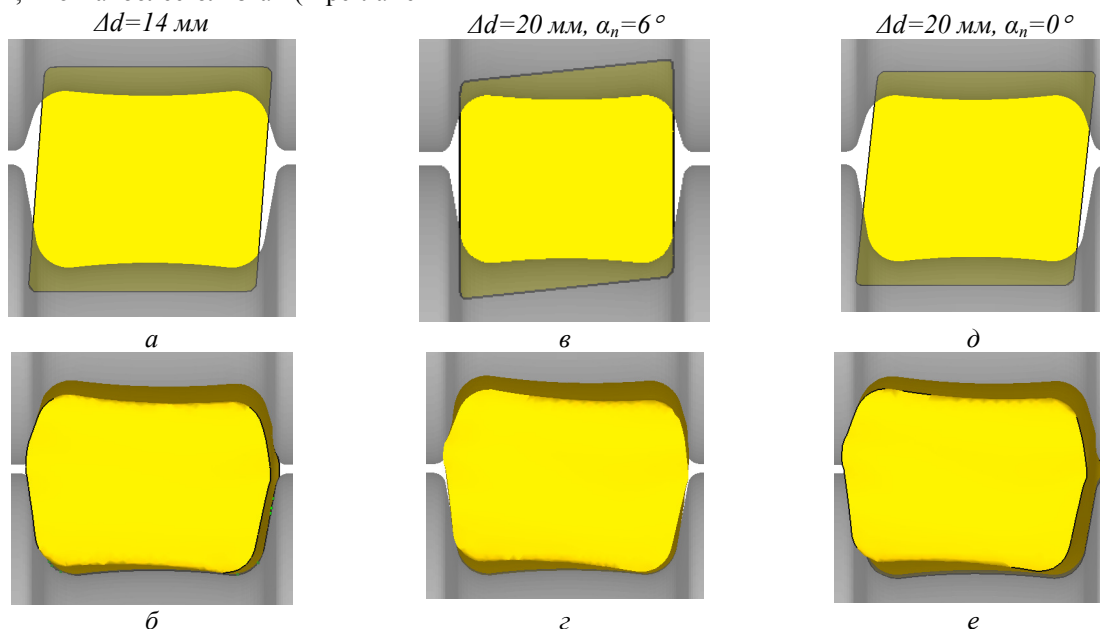


Рис. 1. Результаты численного моделирования процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы “ромбичность” в прямоугольном калибре при $\mu = 1,32$ и $a=1,04$ (действующая технология): а – захват валками; б – выброс из валков; в – захват, возможность поворота вокруг продольной оси ограничена; г – выброс из валков, возможность поворота вокруг продольной оси ограничена; д – захват, возможность поворота вокруг продольной оси не ограничена; е – выброс из валков, возможность поворота вокруг продольной оси не ограничена

Анализ полученных данных показывает, что в области углов $>90^\circ$ при увеличении Δd , при прочих равных условиях, длина дефектов уменьшается: при $\Delta d = 0$ мм - на 23,6%; при $\Delta d = 10$ мм - на 28,3%; при

$\Delta d = 20$ мм - на 30,6%. Глубина залегания дефектов также уменьшается: при $\Delta d = 0$ мм - на 40,3%; при $\Delta d = 10$ мм - на 32%; при $\Delta d = 20$ мм - на 29,7%.

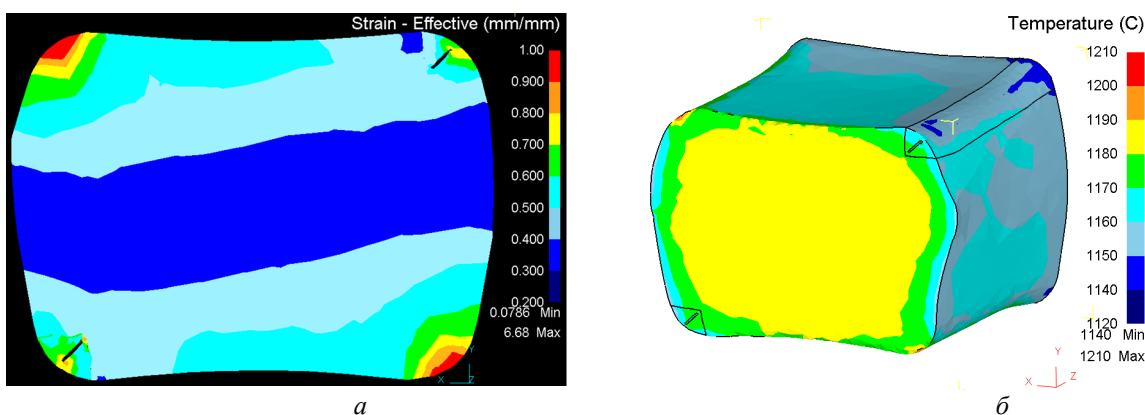


Рис. 2. Распределение эквивалентных деформаций (а) и температуры (б) в поперечном сечении раската после первого прохода (температура заготовки на выходе из печи – 1180°C ; $a=1,04$, $\mu=1,32$)

При этом во всех рассмотренных случаях получена требуемая форма подката, а диагональные трещины НЛЗ минимизировались. Результаты моделирования также показали, что для реализации такой технологической схемы необходима дополнительная установка задающего устройства горизонтальной си-

лой ~ 700 кН, обеспечивающего условия динамического. Схожий характер поведения диагональных трещин при прокатке наблюдали и в острых углах заготовки, в которых величина деформации больше (рис. 2а) и начинается раньше, чем в тупых. Такой характер распределения деформаций в совокупности

с высокой температурой прокатки создает предпосылки для заварки трещин сравнительно небольшой протяженности (не более 3 мм).

Основываясь на выводах работы [2] и полученных в настоящей работе результатах математического моделирования, было установлено следующее. Для реализации режима прокатки НЛЗ сечением 135×135 мм, при котором в первом проходе будет получена требуемая форма подката, а диагональные трещины будут частично завариваться без выхода на поверхность раската, необходимо: дополнительно увеличить температуру нагрева НЛЗ перед прокаткой с 1180°C до 1230°C; вести прокатку в первом проходе с обжатием $\geq 25,2\%$ (то есть не ниже, чем по действующему регламенту ($\mu \geq 1,32$)); снизить скорость прокатки в 8 - 10 раз (с 3 м/с до 0,375 – 0,3 м/с). Предлагаемый режим прокатки позволяет достичь требуемых [2] для реализации процесса частичной заварки внутренних не-

сплошностей заготовки значений степени, скорости и температуры деформации металла в области диагональных трещин

Физическое моделирование производилось на лабораторном стане 100 кафедры ОМД ДонНТУ. В качестве управляющих факторов были приняты: величина относительного обжатия ϵ , степень защемления, а также коэффициент ромбичности K_p , который определялся по формуле

$$K_p = D_2/D_1 \quad (1)$$

где D_1 , и D_2 - соответственно большая и меньшая диагональ поперечного сечения непрерывнолитой заготовки;

Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровень и интервалы варьирования факторов

Управляющий фактор	Интервал варьирования	Уровень		
		Верхний	Основной	Нижний
Относительное обжатие ϵ	0,1	0,3	0,2	0,1
Степень защемления a	0,03	1,07	1,04	1,01
Коэффициент ромбичности K_p	0,02	1,05	1,03	1,01

Определение интервала варьирования фактора «коэффициент ромбичности K_p » было выполнено на основании данных промышленного исследования геометрических параметров непрерывнолитой и горячекатаной заготовки различных производителей [3]. Для прокатки свинцовых образцов (рис. 3) был изготовлен

специальный комплект валков, калибровка которого в масштабе 1:5 соответствовала калибровке валков обжимной клетки стана 500/370 ОАО «Донецкий металлургический завод». Прокатку физических моделей вели с получением недокатов.

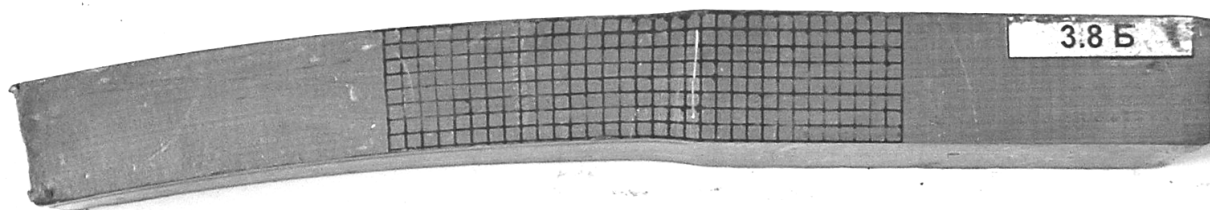


Рис. 3 – Внешний вид свинцового образца после прокатки

Для оценки влияния управляющих факторов на формоизменение образцов, и в первую очередь на результирующую величину ромбичности после прокатки, использовали предложенный критерий ΔK_p , представляющий собой величину относительного изменения ромбичности, и определяемый с помощью следующего выражения:

$$\Delta K_p = \frac{K_p - K'_p}{K_p} \quad (2)$$

где K_p и K'_p – величина коэффициента ромбичности до и после пропуска

Динамика изменения критерия ΔK_p от величины управляющего фактора «относительное обжатие ϵ » приведена на рис. 4.

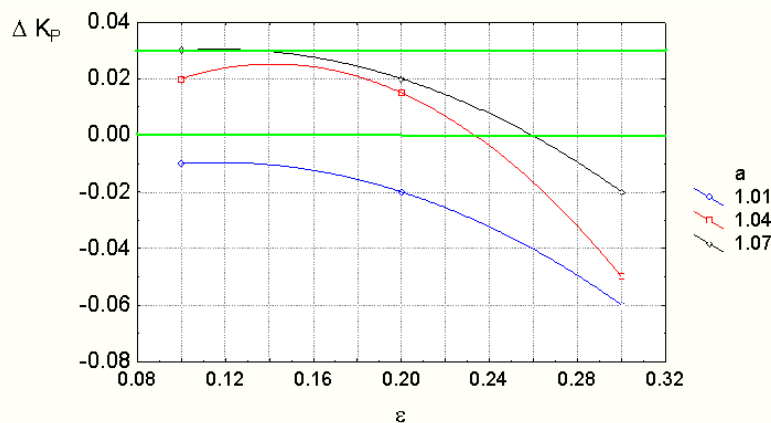


Рис. 4 - Зависимость ΔK_p от управляющего фактора «Относительное обжатие ε » при $K_p=1,03$ и степенях защемления: 1) $a = 1,01$; 2) $a = 1,03$; 3) $a = 1,07$

В целом можно утверждать, что увеличение величины ε приводит к росту величины ромбичности (ΔK_p смещается в отрицательную область) для всех значений степени защемления. Однако, как следует из рис. 4, в исследованном интервале изменения значений ромбичности существует область значений ε , при которых наблюдается исправление этого дефекта (отмечена двумя горизонтальными линиями). Численно она соответствует величине $\varepsilon = 10 - 20\%$. Следует также отметить, что при минимальном зна-

чении коэффициента ромбичности ($K_p=1,01$) рациональные значения относительного обжатия лежат в пределах $\varepsilon = 21 \div 29\%$.

Анализ зависимости параметра ΔK_p от управляющего фактора «Степень защемления a » (рис. 5) также свидетельствует о том, что наибольшее исправление дефекта ромбичности наблюдается при максимальных степенях защемления $a = 1,04 - 1,07$.

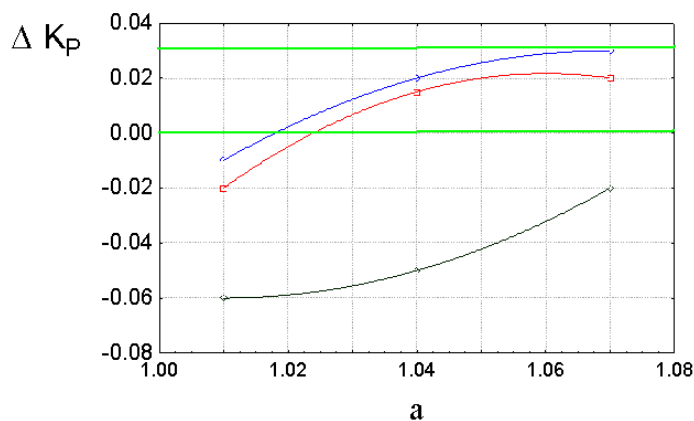


Рис. 5 - Зависимость ΔK_p от управляющего фактора «Степень защемления a » при $K_p=1,03$ и относительных обжатиях: 1) $\varepsilon = 0,10$; 2) $\varepsilon = 0,20$; 3) $\varepsilon = 0,30$

Вывод

Проведенное в работе компьютерное и физическое моделирование процесса прокатки НЛЗ с дефектом формы "ромбичность" в прямоугольных калибрах позволило установить величины рекомендуемых технологических параметров с точки зрения уменьшения или устранения искажения формы (величины разницы диагоналей), а также с точки зрения обеспечения условий заваривания трещин в углах заготовки. Это позволило рекомендовать режимы прокатки, которые позволяют минимизировать "ромбичность" и не допустить раскрытия угловых трещин.

Литература

1. Пат.2278746 Российская Федерация, МПК В21 В1/12. Способ горячей прокатки сортовых профилей / С.И. Платов, А.А. Макачук,

Д.В. Терентьев, А.В. Анцупов, В.Н. Урцев; Общество с ограниченной ответственностью «ПРОМИС».- N2004113152/02; заявл.29.04.2004; опубл.27.06.2006.

2. Wang A. A study of pore closure and welding in hot rolling process / A.Wang, P.F.Thomson, P.D. Hodgson // Journal of Materials Processing Technology. 1996. – Vol. 60. – p. 95-102.

3. К вопросу прокатки непрерывнолитых заготовок в обжимных клетях сортовых станков. Минаев А.А., Григорьев М.В., Зуб В.В. и др. / Машиностроение и техносфера XXI века Сб. тр. междуна. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 8-14 сентября 2003 г. В 4-х томах. – Донецк

4. : ДонНТУ, 2003. Т. 2 – 327 с. С. 257-262.